

## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1. Hasil Penelitian

Maksud dilakukannya pengujian pada benda uji adalah untuk mendapatkan data primer berupa kuat desak beton silinder, kuat tarik baja tulangan, perubahan fisik yang terjadi pada benda uji, beban lendutan kolom normal, beban lendutan kolom solid dan beban lendutan kolom penampang berongga. Dari hasil pengujian tersebut, data yang diperoleh pengujian dianalisa untuk membuat grafik beban lendutan ( $P - \Delta$ ) dan grafik hubungan momen kelengkungan ( $M-\Phi$ )

##### 5.1.1. Hasil Uji Kuat Desak Beton

Kekuatan desak beton rencana dapat direncanakan pada jenis campuran, sifat-sifat agregat serta kualitas rawatan. Kuat desak beton diketahui dari uji desak 21 buah silinder beton ukuran diameter 15 cm, tinggi 30 cm. Silinder beton dilakukan pengujian setelah beton berumur 28 hari. Kuat desak beton yang disyaratkan pada umur 28 hari adalah 20 MPa dari hasil uji desak beton didapat kuat desak 21,5 MPa, sehingga memenuhi kuat desak beton rencana yang disyaratkan.

Uji kuat tekan 21 buah silinder beton bertujuan mengetahui kuat tekan beton pada model, hasil uji disajikan pada lampiran 6, sedangkan rangkuman hasil uji sebagai berikut :

$$\text{Kuat tekan rata-rata } (f'_{cr}) = 27,628 \text{ MPa}$$

$$\text{Standart deviasi } (S) = 3,736 \text{ MPa}$$

Jika penyimpangan maksimum 5% kuat desak karakteristik silinder beton dihitung dengan persamaan :

$$f'_c = f'_{cr} - 1,64 s$$

$$\begin{aligned} \text{didapat } f'_c &= 27,628 - 1,64 (3,736) \\ &= 21,2500 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil uji ini, kuat desak beton pada model adalah 21,5 MPa.

### 5.1.2. Hasil Uji Kuat Tarik Baja Tulangan

Uji kuat tarik baja tulangan dilakukan dengan maksud untuk mengetahui kualitas baja tulangan yang terpasang dalam benda uji. Sedangkan hasilnya ditunjukkan pada lampiran 1, rangkuman hasil uji kuat tarik baja ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Pengujian tarik tulangan longitudinal

Diameter (mm)	Kuat leleh (MPa)	Kuat tarik (MPa)
6	256,90	361,25
12	320,05	452,45

### 5.1.3. Hasil Uji Desak Kolom

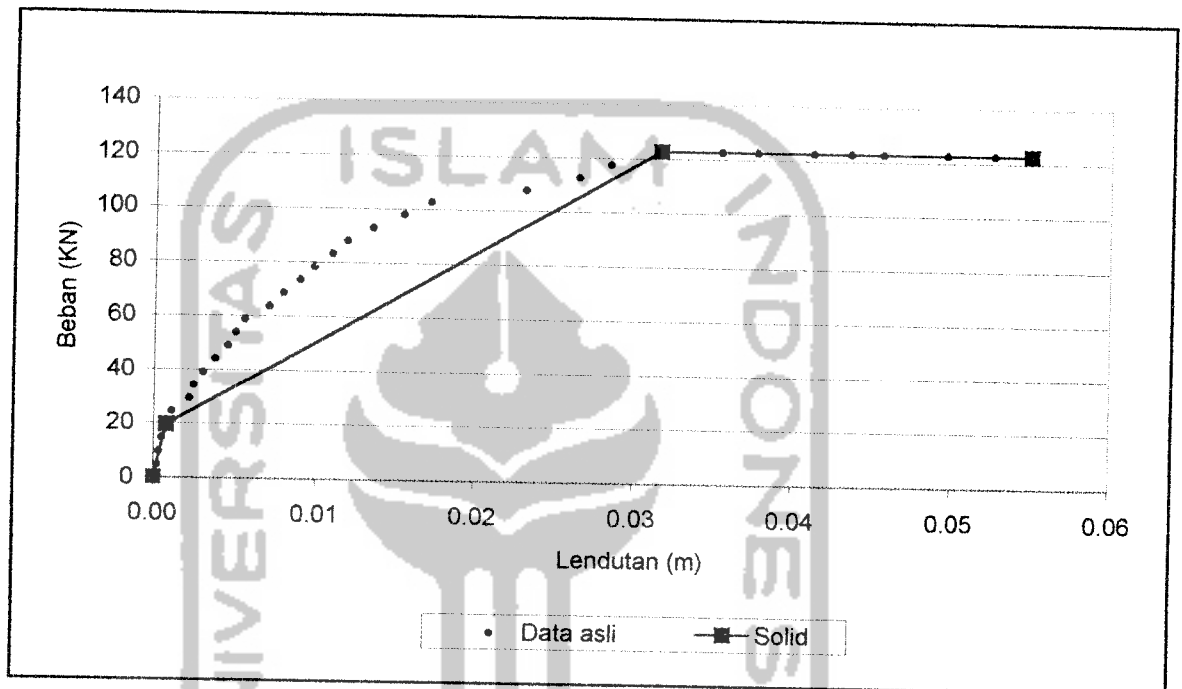
#### 1. Hubungan beban dengan lendutan

Setelah dilakukan uji desak kolom normal selanjutnya dilakukan uji desak kolom berongga dengan variasi rongga 25,4 mm ; 38,1 mm ; 50,8 mm. Pelaksanaan uji kuat desak dilakukan di Laboratorium Struktur Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Pada pengujian kuat desak ini, kolom normal (tanpa rongga) diberikan pembebanan dengan memberi beban pada konsol yang memberi eksentrisitas sebesar 20 cm. Secara bertahap kolom diberi beban dengan kenaikan sebesar 0,5 ton, kemudian setiap tahap pembebanan lendutan terjadi dicatat, hasilnya disajikan pada tabel 5.3.

Tabel 5.2. Hasil Pengujian Desak Kolom Normal

Beban (KN)	Defleksi Lateral (m)		
	Dial II Kolom III ( $\times 10^{-5}$ )	Dial II Kolom I ( $\times 10^{-5}$ )	Rata-rata ( $\times 10^{-5}$ )
0,00	0	0	0
4,90	22	24	23
9,81	34	36	35
14,71	46	54	50
19,61	75	77	76
24,52	105	115	110
29,42	218	220	219
34,32	242	248	245
39,23	292	310	301
44,13	365	385	375
49,04	424	450	452
53,94	491	505	498
58,84	543	561	552
63,75	693	715	704
68,65	777	805	791
73,55	881	905	893
78,46	967	995	981
83,36	1077	1115	1096
88,26	1144	1234	1189
93,17	1290	1410	1350
98,07	1488	1604	1546
102,97	1627	1805	1716
107,88	2215	2415	2315
112,78	2592	2698	2645
117,68	2776	2914	2845
122,59	3110	3208	3159
122,59	3440	3652	3546
122,59	3541	3955	3768
122,59	3716	4532	4124
122,59	4083	4625	4354
122,59	4301	4817	4559
122,59	4923	5005	4964
122,59	5059	5475	5267
122,59	5197	5799	5498

Berdasarkan hasil pengujian kuat desak kolom normal yang terdapat dalam tabel 5.3. dapat digambarkan grafik hubungan beban lendutan ( $P-\Delta$ ). Sedangkan grafik hubungan beban lendutan ( $P-\Delta$ ) dapat dilihat pada Gambar 5.1. berikut ini.

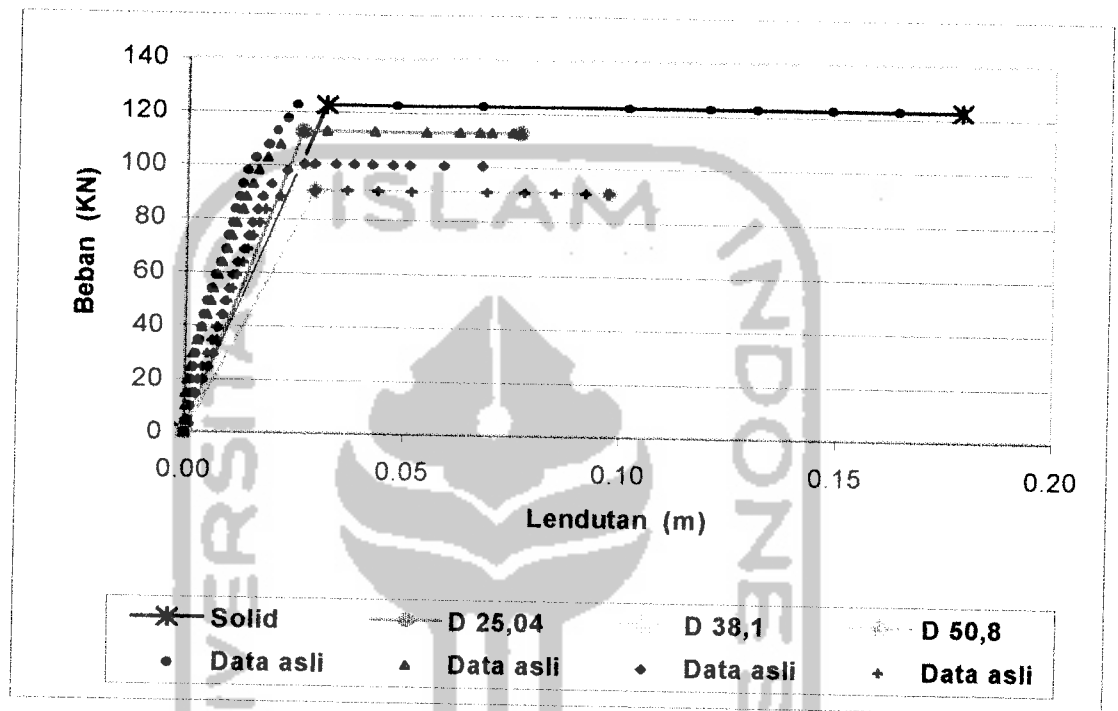


Gambar 5.1. Grafik bi-linier beban lendutan kolom normal

Hubungan beban lendutan uji kuat desak kolom berongga dengan diameter 25,4 mm ; 38,1 mm dan 50,8 ditunjukkan dalam lampiran 2. Dari data tersebut dibuat grafik hubungan beban lendutan dan momen kelengkungan .

## 2. Grafik beban lendutan kolom normal, kolom dan berongga

Grafik beban lendutan kolom normal, kolom dengan rongga berdiameter 25,4 mm ; 38,1 mm dan 50,8 mm ditunjukkan pada Gambar 5.2 (data lihat pada lampiran 7 hal 9).



Gambar 5.2. Grafik Bi-Linier beban lendutan kolom Normal, kolom dengan rongga berdiameter 25,4 mm ; 38,1 mm dan 50,8 mm

### 5.1.4. Hubungan Momen Dengan Kelengkungan

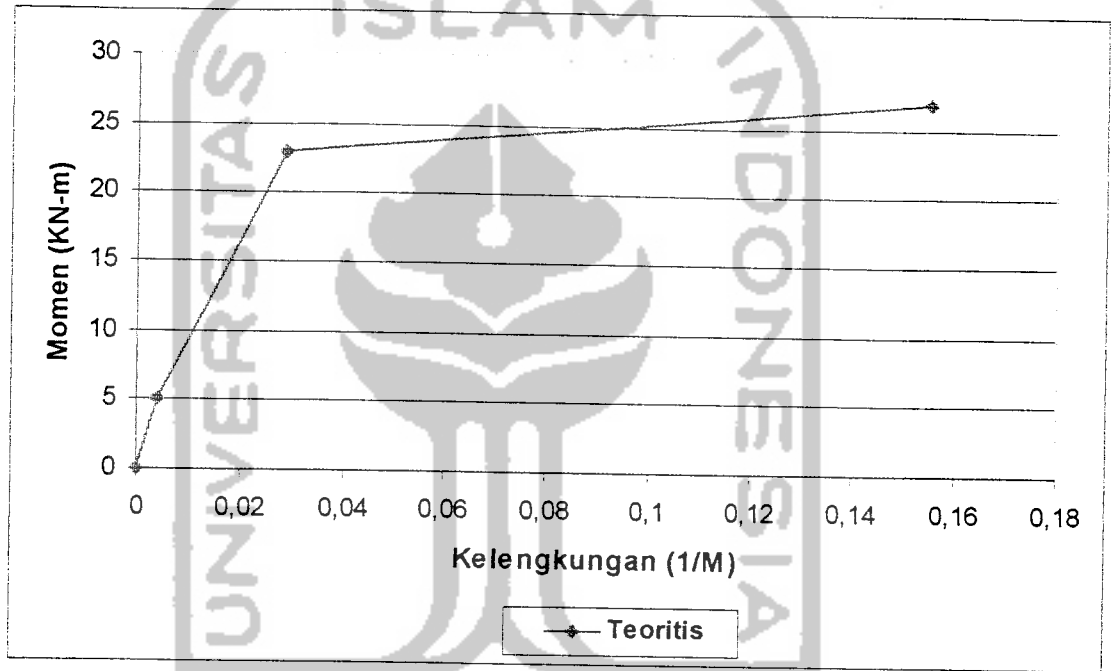
#### 1. Momen kelengkungan teoritis

Mengacu pada tulisan **Park dan Pauley**, nilai momen dan kelengkungan dapat dihitung secara teoritis. Perhitungan momen kelengkungan disajikan pada lampiran 2. Sedangkan hasilnya bisa dilihat pada tabel 5.4 dan kurva tri-linearanya dapat dilihat pada Gambar 5.3.

Tabel 5.3. Hasil Perhitungan Momen Kelengkungan Teoritis

Mer (KN-mm)	Φer (rad/mm)	My (KN-mm)	Φy (rad/mm)	Mu (KN-mm)	Φu (rad/mm)
4,978	3,85 E <sup>-3</sup>	22,995	2,88 E <sup>-2</sup>	26,875	17,5 E <sup>-2</sup>

Dari data perhitungan momen kelengkungan dapat digambarkan kurva tri-linear yang dijadikan pembanding dengan momen kelengkungan kolom normal.(hitungan lihat pada lampiran 18 hal 20)



Gambar 5.3. Grafik Tri-Linear Momen Kelengkungan Teoritis

2. Momen Kelengkungan Hasil Penelitian

Dari uji kuat desak didapat data primer berupa beban P dan lendutan Δ. Dari data tersebut dapat diketahui data momen, kelengkungan dan faktor kekakuan. Hubungan momen, kelengkungan dan faktor kekakuan menurut Themoshenko adalah :

$$\Phi = \frac{M}{EI} \dots\dots\dots (5.1)$$

Peningkatan kelengkungan bila momen bertambah besar atau faktor kekakuan mengecil, kejadian ini digunakan untuk menentukan kuat sisa lentur kolom bertulang yang mengalami kerusakan. Kelengkungan kolom diturunkan dari data perpindahan dengan pendekatan *central difference* dengan  $\Phi$  didapat dari persamaan kelengkungan pada bab III sub bab 3.3.

### 3. Grafik Momen Kelengkungan Kolom Normal

Dari hasil data penelitian diperoleh grafik P- $\Delta$ , sehingga dapat ditentukan momen dan kelengkungan untuk kolom normal. Sedangkan grafik hubungan M- $\Phi$  dapat digunakan untuk menentukan faktor kekakuan.

Yaitu dengan membandingkan kuat lentur pada kolom normal, dengan kuat desak pada kolom yang mempunyai rongga sesuai dengan variasi diameter rongga tersebut.

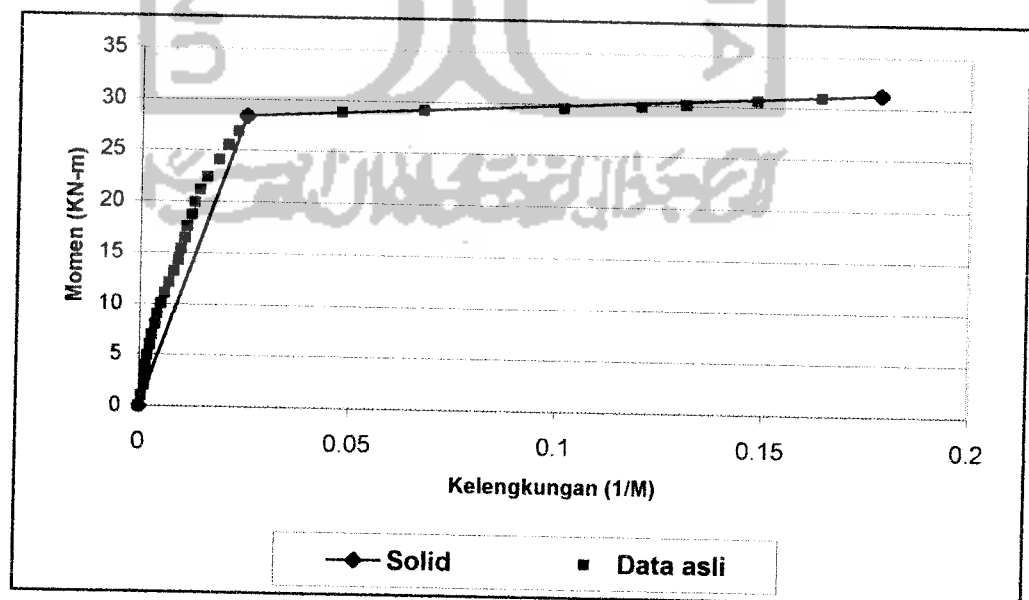
Tabel 5.4. Hubungan Momen Kelengkungan Kolom Normal

Beban (KN)	Defleksi Lateral (m)			Momen (KN-m)	Kelengkungan (1/M)
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00	0,00000
4,90	0,00020	0,00023	0,00018	0,98	0,00057
9,81	0,00025	0,00035	0,00028	1,96	0,00121
14,71	0,00043	0,00050	0,00039	2,95	0,00128
19,61	0,00067	0,00076	0,00065	3,94	0,00142
24,52	0,00095	0,00110	0,00100	4,93	0,00178
29,42	0,00205	0,00219	0,00198	5,95	0,00249
34,32	0,00215	0,00245	0,00235	6,95	0,00284
39,23	0,00281	0,00301	0,00271	7,96	0,00356
44,13	0,00352	0,00375	0,00341	8,99	0,00405
49,04	0,00413	0,00452	0,00423	10,03	0,00484
53,94	0,00495	0,00498	0,00420	11,06	0,00576
58,84	0,00512	0,00552	0,00498	12,09	0,00668
63,75	0,00683	0,00704	0,00615	13,20	0,00782
68,65	0,00742	0,00791	0,00715	14,27	0,00889
73,55	0,00835	0,00893	0,00818	15,37	0,00946

Lanjutan .....

78,46	0,00915	0,00981	0,00902	16,46	0,01031
83,36	0,01025	0,01096	0,01015	17,59	0,01081
88,26	0,01113	0,01189	0,01098	18,70	0,01188
93,17	0,01295	0,01350	0,01229	19,89	0,01252
98,07	0,01475	0,01546	0,01425	21,13	0,01365
102,97	0,01622	0,01716	0,01595	22,36	0,01529
107,88	0,02261	0,02315	0,02115	24,07	0,01806
112,78	0,02570	0,02645	0,02435	25,54	0,02027
117,68	0,02728	0,02845	0,02645	26,88	0,02254
122,59	0,03028	0,03159	0,02945	28,39	0,02453
122,59	0,03294	0,03546	0,03128	28,86	0,04764
122,59	0,03321	0,03768	0,03265	29,14	0,06756
122,59	0,03478	0,04124	0,03345	29,57	0,10133
122,59	0,03525	0,04354	0,03495	29,85	0,12004
122,59	0,03689	0,04559	0,03589	30,11	0,13084
122,59	0,03921	0,04964	0,03923	30,60	0,14820
122,59	0,04136	0,05267	0,04097	30,97	0,16363
122,59	0,04389	0,05498	0,04102	31,26	0,17813

Berdasarkan tabel 5.4, dapat digambarkan grafik hubungan momen kelengkungan, sedangkan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 5.4 yang merupakan grafik momen kelengkungan kolom normal (lihat pada lampiran 15 hal 17)



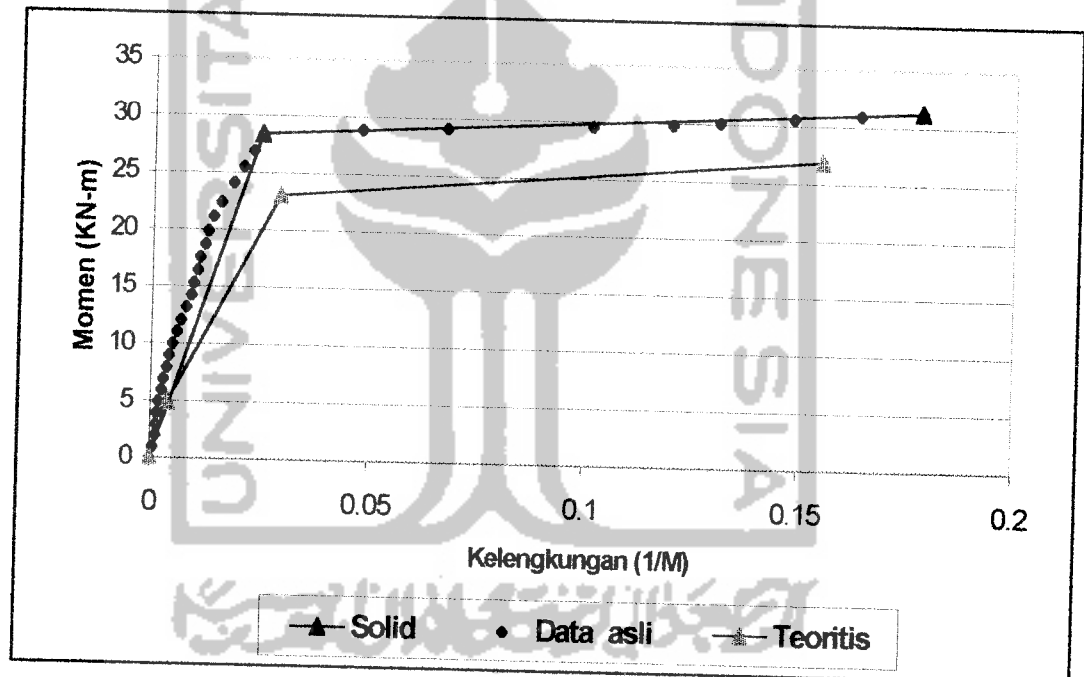
Gambar 5.4. Grafik Bi-Linier Momen Kelengkungan Kolom Normal



Hubungan momen kelengkungan kolom dengan rongga diameter 25,4 mm, 38,1 mm dan 50,8 mm ditunjukkan pada lampiran 3. Dari data tersebut kemudian dibuat grafik hubungan momen kelengkungan untuk masing-masing benda uji tersebut.

**4. Grafik kelengkungan kolom normal secara teoritis dengan momen kelengkungan hasil penelitian.**

Grafik kelengkungan kolom normal dan momen kelengkungan secara teoritis ditunjukkan pada Gambar 5.5.

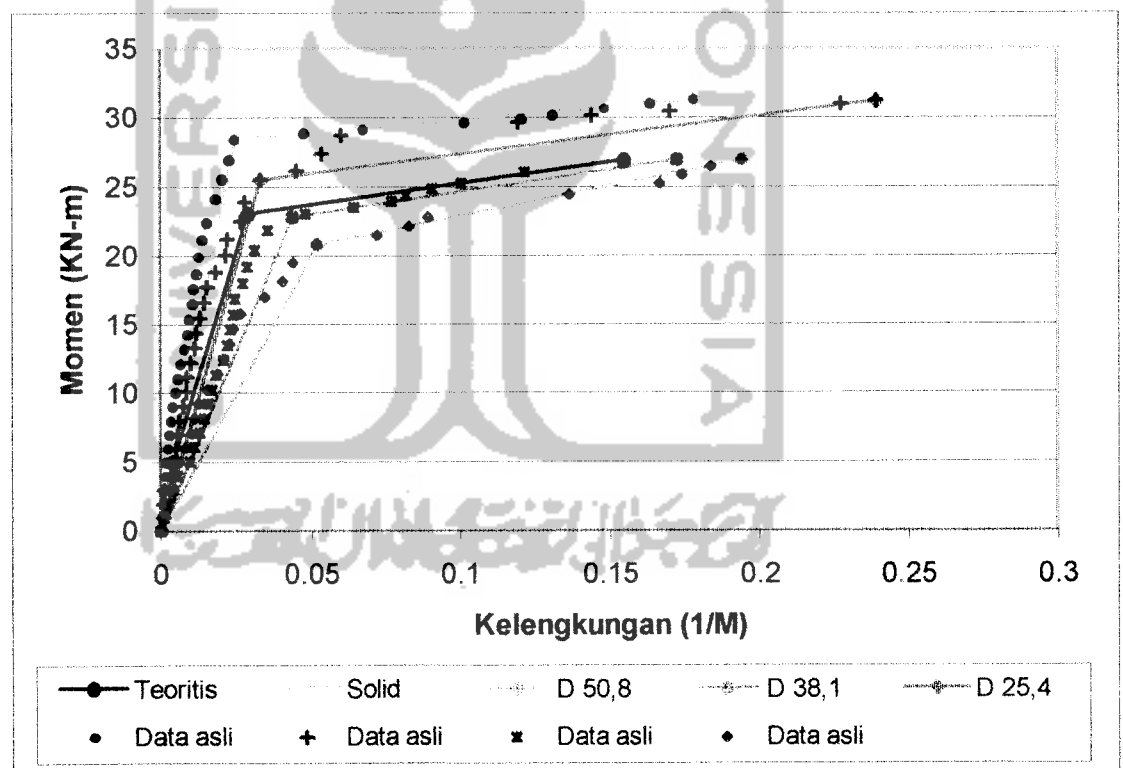


Gambar 5.5. Grafik Perbandingan Momen Kelengkungan Kolom Normal dan Teoritis.

Pada plotting momen kelengkungan terlihat grafik teoritis lebih rendah dari grafik kenyataan (normal) karena kuat tarik beton dalam perhitungan diabaikan. Sedangkan pada kenyataan beton mempunyai kuat tarik, sehingga grafik lebih tinggi dari perhitungan.

##### 5. Grafik momen kelengkungan kolom normal, dan kolom berongga

Grafik Momen Kelengkungan Kolom Normal, Kolom Rongga Diameter 25,4 mm ; 38,1 mm dan 50,8 mm ditunjukkan pada Gambar 5.6. (lihat pada lampiran 15 hal 17)



Gambar 5.6. Grafik Perbandingan Momen Kelengkungan Teoritis, Kolom Normal dan Kolom Rongga Berdiameter 25,4 mm, 38,1 dan 50,8 mm.

## 5.2. Pembahasan

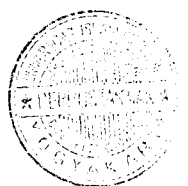
### 5.2.1. Pembahasan kapasitas kolom ditinjau dari hubungan beban dengan lendutan

Dari penelitian didapatkan hubungan beban ( $P$ ) dengan lendutan ( $\Delta$ ), dalam hal ini nilai kekakuan. Nilai kekakuan didapat dari  $P/\Delta$ , kekakuan kolom pada kolom berongga secara umum mempunyai kekakuan yang berbeda dengan kolom solid. Hal ini dapat dilihat dari pola grafik yang diperoleh dari data percobaan di laboratorium.

Pada perbandingan grafik lendutan kolom normal dengan grafik lendutan kolom berongga dianggap mempunyai kuat desak dan kelengkungan 100%. Sedangkan grafik dengan lendutan kolom yang berongga dibandingkan dengan kolom solid dapat diketahui besar penurunan kapasitas dalam persen (%). Dari hasil penelitian tersebut dapat diperoleh angka penurunan kapasitas dari kolom berongga tersebut dibanding dengan kolom normal.

Pada kolom berongga dengan diameter rongga  $506,5 \text{ mm}^2$  (1,56%),  $1139,5 \text{ mm}^2$  (3,52%) dan  $2025 \text{ mm}^2$  (6,25%) akan mengalami penurunan kapasitas kuat desak sebesar 92 %, 82 %, dan 78%. Hal tersebut membuktikan bahwa kolom beton akan mengalami penurunan kapasitas apabila ada rongga, tetapi apabila rongganya sangat kecil, maka pengurangan kapasitas tidak begitu berpengaruh.

Semakin besar beban yang diberikan terhadap kolom, maka semakin besar pula nilai lendutan yang terjadi, begitu juga hubungannya dengan rongga semakin besar rongga yang ada pada kolom maka lendutan yang terjadi akan lebih besar dibandingkan dengan lendutan yang terjadi pada kolom tanpa rongga.



### 5.2.2. Penurunan Momen dan Faktor Kekakuan Ditinjau Dari Grafik Momen Kelengkungan

Hubungan momen kapasitas dan kelengkungan menunjukkan faktor kekakuan dapat dilihat pada lampiran 2. Dalam hal ini didapat dari  $M/\phi$ , faktor kekakuan pada kolom berongga secara umum mempunyai perilaku berbeda. Hal ini dapat dilihat pada pola grafik  $M/\phi$  yang diperoleh dari data percobaan di laboratorium. Pada perbandingan grafik momen kekakuan kolom normal dengan grafik kekakuan kolom normal dengan grafik momen kekakuan kolom berongga, pada grafik momen kelengkungan kolom normal dianggap mempunyai faktor kekakuan 100%. Sedangkan grafik momen kelengkungan kolom berongga dibandingkan grafik kelengkungan kolom normal dapat diketahui besarnya faktor kekakuan dalam persen (%) seperti disebutkan dalam tabel (5.5.) berikut :

Tabel 5.5. Analisa Data

Sampel Kolom	M (kN – m)	$\phi$ ( $m^{-1}$ )	EI (KN- $m^2$ )	M (%)	EI (%)
Normal	28,39	0,02453	1157,36	100	100
Berongga diameter 25,4 mm	25,49	0,0307	770,79	89,01	68,71
Berongga diameter 38,1 mm	22,75	0,04359	521,91	80,52	55,00
Berongga diameter 54,8 mm	20,78	0,05198	399,77	73,10	45,55

Dari tabel 5.5 dapat dilihat terjadinya penurunan momen dan faktor kekakuan. Sedangkan penurunan yang terjadi adalah sebesar :

Pada kolom berongga dengan diameter 506,5 mm<sup>2</sup> (1,56%) mengalami penurunan momen sebesar 10,99% dan penurunan faktor kekakuan sebesar 31,29%.

Pada kolom berongga dengan diameter 1139,5 mm<sup>2</sup> mengalami penurunan momen sebesar 19,48 % dan penurunan faktor kekakuan sebesar 45%.

Pada kolom berongga dengan diameter 2025,8 mm<sup>2</sup> mengalami penurunan momen sebesar 26,9 % dan penurunan faktor kekakuan sebesar 54,45%.

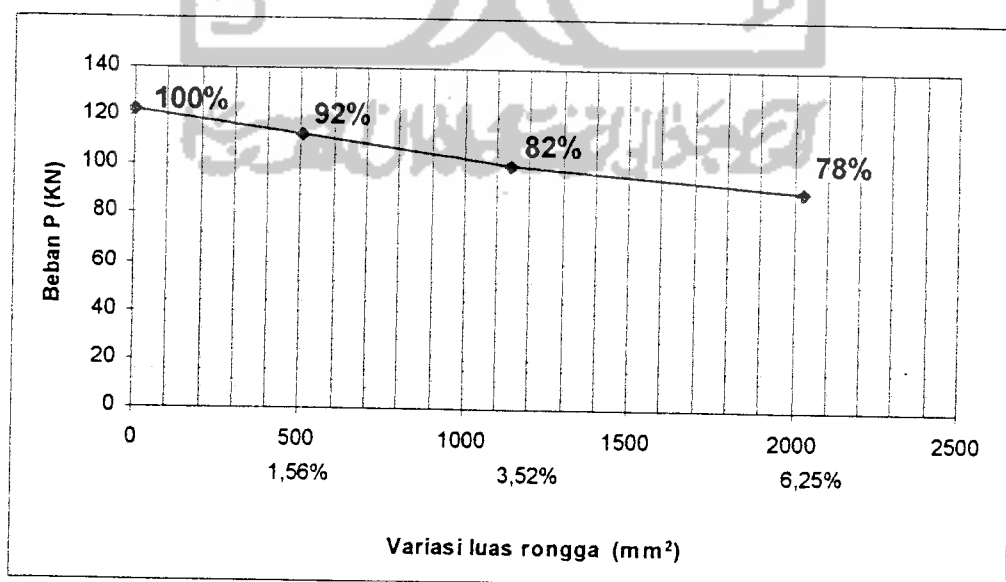
### 5.2.3. Penurunan kapasitas kolom ditinjau dari hubungan beban dengan luas rongga.

Semakin besar diameter pipa / rongga yang terdapat pada kolom yang mendapat beban eksentris, akan semakin besar pula pengurangan kuat aksial nominal dari kolom tersebut. Hal ini dapat dilihat pada tabel 5.6 di bawah ini :

Tabel 5.6. Hitungan Beban dan Luas Rongga

P (KN)	122,58	112,78	100,52	90,71
P (%)	100	92	82	78
Luas Rongga (mm <sup>2</sup> )	0	506,5	1139,5	2025,8
Luas Rongga (%)	0	1,56	3,52	6,25

Dari tabel di atas dapat dibuat gambar grafik hubungan beban dengan luas rongga sebagai berikut :



Gambar 5.7. Grafik Prosentase penurunan beban terhadap variasi luas rongga

Pada kolom berongga dengan luas rongga  $506,5 \text{ mm}^2$  (1,565%), kuat aksial yang dapat ditahan adalah 112,780 kN (92%), berkurang sebesar 8 % dari beban aksial nominal yang dapat ditahan kolom tanpa rongga. Untuk luas rongga  $1139,5 \text{ mm}^2$  (3,52%) kuat aksial nominal yang dapat ditahan adalah 100,520 kN (82%), berkurang sebesar 18 % dari beban aksial nominal yang dapat ditahan kolom tanpa rongga. Untuk luas rongga  $2025,8 \text{ mm}^2$  (6,25%), kuat aksial yang dapat ditahan adalah 90,710 kN (78%), berkurang sebesar 22 % dari kuat aksial nominal yang dapat ditahan oleh kolom tanpa rongga. Hal tersebut membuktikan bahwa kolom beton akan mengalami penurunan kapasitas apabila terjadi pengurangan luas efektif beton (rongga). Apabila rongganya sangat kecil maka pengurangan kapasitas tidak begitu berpengaruh.

#### 5.2.4. Penurunan Kapasitas Kolom ditinjau dari hubungan Beban dengan Kelangsingan

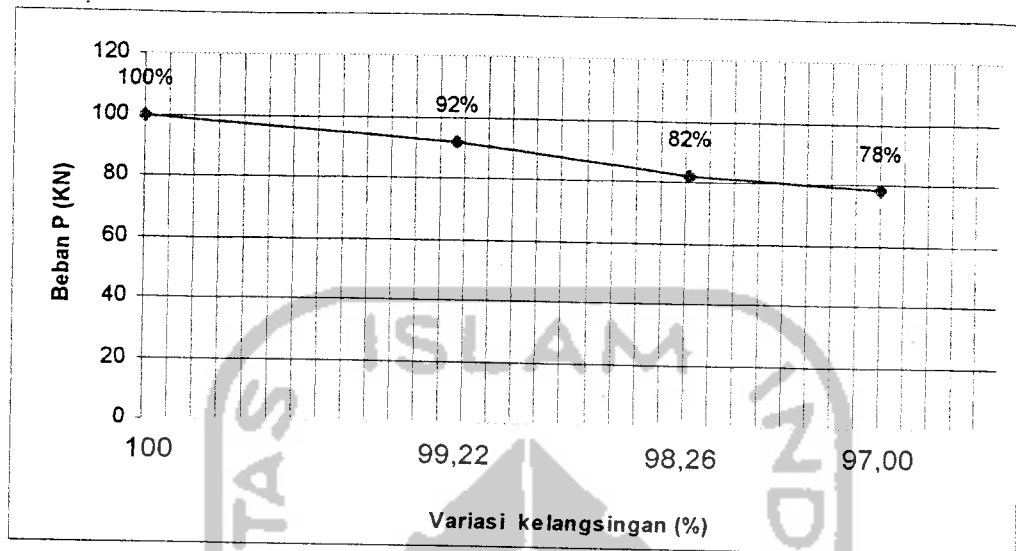
Semakin besar luar rongga yang terdapat dalam kolom, semakin besar pula pengurangan kuat aksial nominal dan nilai kelangsingan semakin kecil, dalam perhitungan inersia luas tulangan diabaikan karena dianggap luasannya kecil.

Hal ini dapat dilihat pada tabel 5.7. di bawah ini :

Tabel 5.7. Hitungan Beban dan kelangsingan

P (KN)	122,58	112,78	100,52	90,71
P (%)	100	92	82	78
Klu/r	28,868	28,644	28,366	28,003
Klu/r (%)	100	99,22	98,26	97,00

Dari tabel di atas dapat dibuat gambar grafik hubungan beban dengan kelangsingan sebagai berikut :



Gambar 5.7. Grafik Prosentase Penurunan Beban terhadap variasi kelangsingan

Pada kolom tanpa rongga (0%) nilai kelangsingan 28,868 (100%), untuk kelas rongga 1,56 % kelangsingan 28,644 (99,22%), untuk luas rongga 3,52 % nilai kelangsingan 28,366 (98,26%) sedangkan luas rongga 6,25% nilai kelangsingan 28,003 (97%). Ini berarti semakin besar luas rongga yang terdapat dalam penampang kolom semakin kecil nilai kelangsingan dan kuat aksial yang dapat ditahan semakin kecil